

ISSN 0368-0797 (*Print*)  
ISSN 2410-2091 (*Online*)

# ИЗВЕСТИЯ

## ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ

## ЧЕРНАЯ МЕТАЛЛУРГИЯ

*Том 65, Номер 4, 2022*

Научно-технический журнал  
Издается с января 1958 г. ежемесячно

# IZVESTIYA

## FERROUS METALLURGY

*Volume 65, Number 4, 2022*

Scientific and Technical Journal  
Published since January 1958. Issued monthly

# ИЗВЕСТИЯ

## ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ ЧЕРНАЯ МЕТАЛЛУРГИЯ

www.fermet.misis.ru

ISSN 0368-0797 (Print) ISSN 2410-2091 (Online)

### Варианты названия:

Известия вузов. Черная металлургия  
Izvestiya. Ferrous Metallurgy

### Учредители:



Национальный исследовательский  
технологический университет «МИСиС» (НИТУ МИСиС)



Сибирский государственный индустриальный университет

### Главный редактор:

**Леопольд Игоревич Леонтьев**, академик РАН, советник,  
Президиум РАН; д.т.н., профессор, Национальный иссле-  
довательский технологический университет «МИСиС»;  
главный научный сотрудник, Институт металлургии УрО РАН,  
г. Москва

### Заместитель главного редактора:

**Евгений Валентинович Протопопов**, д.т.н., профессор,  
Сибирский государственный индустриальный университет,  
г. Новокузнецк

### Адреса редакций:

Россия, 119991, Москва, Ленинский пр-т, д. 4  
Национальный исследовательский технологический  
университет «МИСиС»,  
Тел.: +7 (495) 638-44-11

E-mail: fermet.misis@mail.ru, ferrous@sisu.ru

Россия, 654007, Новокузнецк,  
Кемеровская обл. – Кузбасс, ул. Кирова, зд. 42  
Сибирский государственный индустриальный университет,  
Тел.: +7 (3843) 74-86-28  
E-mail: redjizvz@sibsiu.ru

### Редакционная коллегия:

**Алешин Н.П.**, академик РАН, д.т.н., профессор, МГТУ им. Н.Э. Баумана,  
г. Москва

**Астахов М.В.**, д.т.н., профессор, НИТУ «МИСиС», г. Москва

**Ашихмин Г.В.**, д.т.н., профессор, ОАО «Ин-т Цветметобработка»,  
г. Москва

**Байсанов С.О.**, д.т.н., профессор, ХМИ им. Ж.Абишева, г. Караганда,  
Республика Казахстан

**Белов В.Д.**, д.т.н., профессор, НИТУ «МИСиС», г. Москва

**Бродов А.А.**, к.экон.н., ФГУП «ЦНИИчермет им. И.П. Бардина»,  
г. Москва

**Волынкина Е.П.**, д.т.н., профессор, СибГИУ, г. Новокузнецк

**Глезер А.М.**, д.ф.-м.н., профессор, НИТУ «МИСиС», г. Москва

**Горбатько С.М.**, д.т.н., профессор, НИТУ «МИСиС», г. Москва

**Григорьев К.В.**, академик РАН, д.т.н., ИМЕТ им. А.А. Байкова РАН,  
г. Москва

**Громов В.Е.**, д.ф.-м.н., профессор, СибГИУ, г. Новокузнецк

**Дмитриев А.Н.**, д.т.н., академик, профессор, ИМЕТ УрО РАН,  
г. Екатеринбург

**Дуб А.В.**, д.т.н., профессор, ЗАО «Наука и инновации», г. Москва

**Жучков В.И.**, д.т.н., профессор, ИМЕТ УрО РАН, г. Екатеринбург

**Зингер Р.Ф.**, д.т.н., профессор, Институт Фридриха-Александра,  
Германия

**Зиниград М.**, д.т.н., профессор, Институт Ариэля, Израиль

**Золотухин В.И.**, д.т.н., профессор, ТулГУ, г. Тула

**Колмаков А.Г.**, д.т.н., чл.-корр. РАН, ИМЕТ им. А.А. Байкова РАН,  
г. Москва

**Колокольцев В.М.**, д.т.н., профессор, МГТУ им. Г.И. Носова,  
г. Магнитогорск

**Костина М.В.**, д.т.н., ИМЕТ им. А.А. Байкова РАН, г. Москва

**Косырев К.Л.**, д.т.н., профессор, АО «НПО «ЦНИИТМаш», г. Москва

**Курганова Ю.А.**, д.т.н., профессор, МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва

**Куринос В.В.**, к.ф.-м.н., доцент, НИТУ «МИСиС», г. Москва

**Линн Х.**, ООО «Линн Хай Терм», Германия

**Лысак В.И.**, академик РАН, д.т.н., профессор, ВолгГТУ, г. Волгоград

**Мешалкин В.П.**, академик РАН, д.т.н., профессор, РХТУ  
им. Д.И. Менделеева, г. Москва

**Мулюков Р.Р.**, д.ф.-м.-н., профессор, чл.-корр. ФГБУН ИПСМ РАН,  
г. Уфа

**Мышляев Л.П.**, д.т.н., профессор, СибГИУ, г. Новокузнецк

**Никулин С.А.**, д.т.н., профессор, чл.-корр. РАЕН, НИТУ «МИСиС»,  
г. Москва

**Нурумгалиев А.Х.**, д.т.н., профессор, КГИУ, г. Караганда, Республика  
Казахстан

**Островский О.И.**, д.т.н., профессор, Университет Нового Южного  
Уэльса, Сидней, Австралия

**Пиетрелли Лорис**, д.т.н., Итальянское национальное агентство по  
новым технологиям, энергетике и устойчивому экономическому  
развитию, Рим, Италия

**Подгородецкий Г.С.**, к.т.н., доцент, НИТУ «МИСиС», г. Москва

**Пышминцев И.Ю.**, д.т.н., РосНИТИ, г. Челябинск

**Рудской А.И.**, академик РАН, д.т.н., профессор, СПбПУ Петра  
Великого, г. Санкт-Петербург

**Сивак Б.А.**, к.т.н., профессор, АО АХК «ВНИИМТМаш», г. Москва

**Симонов Л.М.**, д.т.н., профессор, НИТУ «МИСиС», г. Москва

**Смирнов Л.А.**, академик РАН, д.т.н., профессор, ОАО «Уральский  
институт металлов», г. Екатеринбург

**Солодов С.В.**, к.т.н., НИТУ «МИСиС», г. Москва

**Спирин Н.А.**, д.т.н., профессор, УрФУ, г. Екатеринбург

**Танг Гуоц**, Институт перспективных материалов университета  
Циньхуа, г. Шеньжень, Китай

**Темлянец М.В.**, д.т.н., профессор, СибГИУ, г. Новокузнецк

**Филонов М.Р.**, д.т.н., профессор, НИТУ «МИСиС», г. Москва

**Чуманов И.В.**, д.т.н., профессор, ЮУрГУ, г. Челябинск

**Шецуков О.Ю.**, д.т.н., профессор, УрФУ, г. Екатеринбург

**Шпайдель М.О.**, д.т.н., профессор, Швейцарская академия  
материаловедения, Швейцария

**Юрьев А.Б.**, д.т.н., доцент, СибГИУ, г. Новокузнецк

**Юсупов В.С.**, д.т.н., профессор, ИМЕТ им. А.А. Байкова РАН, г. Москва

По решению ВАК журнал «Известия вузов. Черная  
металлургия» входит в «Перечень ведущих  
рецензируемых научных журналов и изданий,  
в которых должны быть опубликованы основные  
научные результаты диссертаций на соискание  
ученой степени доктора и кандидата наук».

**Индексирование:** Scopus, Russian Science Citation Index  
на платформе Web of Science, Research Bible, OCLC и Google Scholar

Зарегистрирован Федеральной службой по надзору  
в сфере связи и массовых коммуникаций ПИ № ФС77-35456.



Статьи доступны под лицензией Creative Commons  
Attribution 4.0 License.

# IZVESTIYA

## FERROUS METALLURGY

www.fermet.misis.ru

ISSN 0368-0797 (Print) ISSN 2410-2091 (Online)

### Alternative title:

Izvestiya vuzov. Chernaya metallurgiya  
Izvestiya. Ferrous Metallurgy

### Founders:



National University of Science  
and Technology "MISIS"



Siberian State Industrial University

### Editor-in-Chief:

**Leopold I. Leont'ev**, Academician, Adviser of the Russian Academy of Sciences; Dr. Sci. (Eng.), Prof., National University of Science and Technology "MISIS"; Chief Researcher, Institute of Metallurgy UB RAS, Moscow

### Deputy Editor-in-Chief:

**Evgenii V. Protopopov**, Dr. Sci. (Eng.), Prof., Siberian State Industrial University, Novokuznetsk

### Editorial Addresses:

4 Leninskii Ave., Moscow 119991, Russian Federation  
National University of Science and Technology "MISIS"  
Tel.: +7 (495) 638-44-11

E-mail: fermet.misis@mail.ru, ferrous@sisu.ru

42 Kirova Str., Novokuznetsk, Kemerovo Region – Kuzbass  
654007, Russian Federation  
Siberian State Industrial University  
Tel.: +7 (3843) 74-86-28  
E-mail: redjizv@sibsiu.ru

### Editorial Board:

**Nikolai P. Aleshin**, Dr. Sci. (Eng.), Prof., Academician of RAS, Bauman STU, Moscow  
**German V. Ashikhmin**, Dr. Sci. (Eng.), Prof., JSC "Institute Tsvetmetobrabotka", Moscow

**Mikhail V. Astakhov**, Dr. Sci. (Eng.), Prof., NUST "MISIS", Moscow

**Sailaubai O. Baisanov**, Dr. Sci. (Eng.), Prof., Abishev Chemical-Metallurgical Institute, Karaganda, Republic of Kazakhstan

**Vladimir D. Belov**, Dr. Sci. (Eng.), Prof., NUST "MISIS", Moscow

**Anatolii A. Brodov**, Cand. Sci. (Econ.), Bardin Central Research Institute for Ferrous Metallurgy, Moscow

**Ilya V. Chumanov**, Dr. Sci. (Eng.), Prof., South Ural State Research University, Chelyabinsk

**Andrei N. Dmitriev**, Dr. Sci. (Eng.), Prof., Academician, Institute of Metallurgy, Ural Branch of RAS, Ural Federal University, Yekaterinburg

**Aleksei V. Dub**, Dr. Sci. (Eng.), Prof., JSC "Science and Innovations", Moscow

**Mikhail R. Filonov**, Dr. Sci. (Eng.), Prof., NUST "MISIS", Moscow

**Aleksandr M. Glezer**, Dr. Sci. (Phys.-math.), Prof., NUST "MISIS", Moscow

**Sergei M. Gorbatyuk**, Dr. Sci. (Eng.), Prof., NUST "MISIS", Moscow

**Konstantin V. Grigorovich**, Academician of RAS, Dr. Sci. (Eng.), Baikov Institute of Metallurgy and Materials Science of RAS, Moscow

**Victor E. Gromov**, Dr. Sci. (Eng.), Prof., Siberian State Industrial University, Novokuznetsk

**Aleksei G. Kolmakov**, Dr. Sci. (Eng.), Corresponding Member of RAS, Baikov Institute of Metallurgy and Materials Science of RAS, Moscow

**Valerii M. Kolokol'tsev**, Dr. Sci. (Eng.), Prof., Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk

**Mariya V. Kostina**, Dr. Sci. (Eng.), Baikov Institute of Metallurgy and Materials Science of RAS, Moscow

**Konstantin L. Kosyrev**, Dr. Sci. (Eng.), Prof., JSC "NPO "TSNIITMash", Moscow

**Yuliya A. Kurganova**, Dr. Sci. (Eng.), Prof., Bauman Moscow State Technical University, Moscow

**Vladimir V. Kurnosov**, Cand. Sci. (Phys.-Math.), Assist. Prof., NUST "MISIS", Moscow

**Linn Horst**, Linn High Therm GmbH, Hirschbach, Germany

**Vladimir I. Lysak**, Academician of RAS, Dr. Sci. (Eng.), Prof., Rector, Volgograd State Technical University, Volgograd

**Valerii P. Meshalkin**, Dr. Sci. (Eng.), Academician of RAS, Prof., D.I. Mendeleyev Russian Chemical-Technological University, Moscow

**Radik R. Mulyukov**, Dr. Sci. (Phys.-Chem.), Prof., Corresponding Member of RAS, Institute of Metals Superplasticity Problems of RAS, Ufa

**Leonid P. Myshlyaev**, Dr. Sci. (Eng.), Prof., Siberian State Industrial University, Novokuznetsk

**Sergei A. Nikulin**, Dr. Sci. (Eng.), Prof., Corresponding Member of RAS, NUST "MISIS", Moscow

**Asylbek Kh. Nurumgaliev**, Dr. Sci. (Eng.), Prof., Karaganda State Industrial University, Karaganda, Republic of Kazakhstan

**Oleg I. Ostrovski**, Dr. Sci. (Eng.), Prof., University of New South Wales, Sydney, Australia

**Loris Pietrelli**, Dr., Scientist, Italian National Agency for New Technologies, Energy and Sustainable Economic Development, Rome, Italy

**Gennadii S. Podgorodetskii**, Cand. Sci. (Eng.), Assist. Prof., NUST "MISIS", Moscow

**Igor' Yu. Pyshmintsev**, Dr. Sci. (Eng.), Russian Research Institute of the Pipe Industry, Chelyabinsk

**Andrei I. Rudskoi**, Academician of RAS, Dr. Sci. (Eng.), Prof., Rector, Peter the Great Saint-Petersburg Polytechnic University, Saint-Petersburg

**Oleg Yu. Sheshukov**, Dr. Sci. (Eng.), Prof., Ural Federal University, Yekaterinburg

**Laura M. Simonyan**, Dr. Sci. (Eng.), Prof., NUST "MISIS", Moscow

**Robert F. Singer**, Dr. Sci. (Eng.), Prof., Friedrich-Alexander University, Germany

**Boris A. Sivak**, Cand. Sci. (Eng.), Prof., VNIIMETMASH Holding Company, Moscow

**Leonid A. Smirnov**, Dr. Sci. (Eng.), Prof., Academician of RAS, OJSC "Ural Institute of Metals", Yekaterinburg

**Sergei V. Solodov**, Cand. Sci. (Eng.), NUST "MISIS", Moscow

**Speidel Marcus**, Dr. Natur. Sci., Prof., Swiss Academy of Materials, Switzerland

**Nikolai A. Spirin**, Dr. Sci. (Eng.), Prof., Ural Federal University, Yekaterinburg

**Tang Guoi**, Institute of Advanced Materials of Tsinghua University, Shenzhen, China

**Mikhail V. Temlyantsev**, Dr. Sci. (Eng.), Prof., Siberian State Industrial University, Novokuznetsk

**Ekaterina P. Volynkina**, Dr. Sci. (Eng.), Assist. Prof., Siberian State Industrial University, Novokuznetsk

**Aleksei B. Yur'ev**, Dr. Sci. (Eng.), Assist. Prof., Siberian State Industrial University, Novokuznetsk

**Vladimir S. Yusupov**, Dr. Sci. (Eng.), Prof., Baikov Institute of Metallurgy and Materials Science of RAS, Moscow

**Vladimir I. Zhuchkov**, Dr. Sci. (Eng.), Prof., Institute of Metallurgy, Ural Branch of RAS, Ural Federal University, Yekaterinburg

**Michael Zinigrad**, Dr. Sci. (Physical Chemistry), Prof., Rector, Ariel University, Israel

**Vladimir I. Zolotukhin**, Dr. Sci. (Eng.), Prof., Tula State University, Tula

*Journal "Izvestiya. Ferrous metallurgy" is included in the "List of the leading peer-reviewed scientific journals and publications, in which should be published major scientific results of dissertations for the degree of doctor and candidate of sciences" by the decision of the Higher Attestation Commission.*

**Indexed:** Scopus, Russian Science Citation Index (Web of Science), Research Bible, OCLC and Google Scholar

Registered in Federal Service for Supervision in the Sphere of Mass Communications **PI number FS77-35456.**



Articles are available under Creative Commons Attribution 4.0 License.

СОДЕРЖАНИЕ

CONTENTS

МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ

- Шевченко Р.А., Юрьев А.Б., Козырев Н.А., Мих-  
но А.Р. Исследование закономерностей процессов  
в искровом промежутке при контактной стыковой  
сварке железнодорожных рельсов ..... 232
- Сборщиков Г.С., Петелин А.Л., Терехова А.Ю. Иссле-  
дование тепловой работы надслоевого пространст-  
ва печи Ромелт ..... 240

ЭКОЛОГИЯ И РАЦИОНАЛЬНОЕ  
ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ

- Нуржанов О.С., Торохов Г.В., Черноусов П.И., Чез-  
ганова Д.В. Пространственное распространение  
аэрозольных и пылевых техногенных выбросов  
во внешней зоне влияния металлургических пред-  
приятий ..... 246

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

- Осинцев К.А., Громов В.Е., Воробьев С.В., Ива-  
нов Ю.Ф., Панченко И.А. Влияние электронно-  
пучковой обработки на дефектную субструктуру  
высокоэнтропийного сплава системы Co – Cr – Fe –  
– Mn – NiC ..... 254
- Данилов В.И., Горбатенко В.В., Данилова Л.В. Кине-  
тика деформации Людерса как автоволнового про-  
цесса ..... 261

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ  
МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

- Якушевич Н.Ф., Протопопов Е.В., Темлянцеv М.В.,  
Павлов В.В., Абина А.Н., Бивол О.В. Термодина-  
мика восстановления щелочно-земельных метал-  
лов из шлаковых расплавов ..... 268

ИННОВАЦИИ В МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОМ  
ПРОМЫШЛЕННОМ И ЛАБОРАТОРНОМ  
ОБОРУДОВАНИИ, ТЕХНОЛОГИЯХ  
И МАТЕРИАЛАХ

- Лехов О.С., Гузанов Б.Н., Михалев А.В., Билалов Д.Х.  
Исследование структурообразования при произ-  
водстве листовой стали на установке непрерывного  
литья и деформации ..... 278

METALLURGICAL TECHNOLOGIES

- Shevchenko R.A., Yur'ev A.B., Kozyrev N.A., Mikh-  
no A.R. Investigation of processes in spark gap during  
contact butt welding of railway rails ..... 232
- Sborshchikov G.S., Petelin A.L., Terekhova A.Yu. Ther-  
mal operation of superlayer space in Romelt furnace .... 240

ECOLOGY AND RATIONAL USE  
OF NATURAL RESOURCES

- Nurzhanov O.S., Torokhov G.V., Chernousov P.I., Chez-  
ganova D.V. Spatial distribution of aerosol and dust  
man-made emissions in external influence zone of me-  
tallurgical enterprises ..... 246

MATERIAL SCIENCE

- Osintsev K.A., Gromov V.E., Vorob'ev S.V., Ivanov Yu.F.,  
Panchenko I.A. Effect of high-current pulsed electron  
beam treatment on defect substructure of the high-ent-  
ropy alloy of Co – Cr – Fe – Mn – Ni system ..... 254
- Danilov V.I., Gorbatenko V.V., Danilova L.V. Kinetics of  
Lüders deformation as an autowave process ..... 261

PHYSICO-CHEMICAL BASICS  
OF METALLURGICAL PROCESSES

- Yakushevich N.F., Protopopov E.V., Temlyantsev M.V.,  
Pavlov V.V., Abina A.N., Bivol O.V. Thermodynamics  
of alkaline-earth metals reduction from slag melts ..... 268

INNOVATIONS IN METALLURGICAL  
INDUSTRIAL AND LABORATORY  
EQUIPMENT, TECHNOLOGIES  
AND MATERIALS

- Lekhov O.S., Guzanov B.N., Mikhalev A.V., Bilalov D.Kh.  
Structure formation during sheet steel production in a unit  
of continuous casting and deformation ..... 278

<b>Одиноков В.И., Евстигнеев А.И., Дмитриев Э.А., Чернышова Д.В., Евстигнеева А.А.</b> Влияние опорного наполнителя и структуры оболочковой формы на ее трещиностойкость .....	285
<b>Фастыковский А.Р., Вахроломеев В.А., Никитин А.Г.</b> Оценка возможностей калибров, формирующих сочлененные профили, для реализации технологии прокатки – разделения .....	294
<b>70 лет А.Р. Фастыковскому</b> .....	224

<b>Odinokov V.I., Evstigneev A.I., Dmitriev E.A., Chernyshova D.V., Evstigneeva A.A.</b> Influence of support filler and structure of shell mold on its crack resistance ...	285
<b>Fastykovskii A.R., Vakhrolomeev V.A., Nikitin A.G.</b> Capabilities of grooves forming articulated profiles for rolling – separation technology .....	294
<b>To the 70<sup>th</sup> Anniversary of Fastykovskii A.R.</b> .....	224